

# 采矿工程中巷道掘进和支护技术研究

张 科

甘肃万胜矿业有限公司 甘肃 庆阳 745713

**摘要：**三软岩层因岩体强度低、遇水易软化、自稳能力差，巷道掘进与支护难度大。本文围绕三软岩层巷道掘进技术，分析了钻爆法与机械掘进法的适用性及施工要点，强调精准控制断面尺寸、坡度及岩体稳定性监测的重要性；在支护技术方面，介绍了高强锚杆、预应力锚索等材料特性，以及“主动+被动”联合支护工艺与关键控制要点；最后探讨了掘进与支护的时序协同、技术匹配及全程质量控制策略。研究表明，科学选择掘进方法、优化支护参数并实现协同应用，可显著提高巷道稳定性，降低工程成本，为三软岩层采矿工程提供技术保障。

**关键词：**采矿工程；巷道掘进；支护技术

**引言：**在采矿工程中，三软岩层（软顶板、软煤层、软底板并存）因其岩体强度低、遇水易软化、自稳能力差等特性，给巷道掘进与支护带来巨大挑战。此类岩层条件下，巷道掘进需兼顾安全、尺寸精度及对周边岩体的最小扰动，而支护则需满足高强度、抗变形等要求。随着采矿技术不断发展，如何科学选择掘进方法、优化支护技术，并实现掘进与支护的协同应用，成为保障三软岩层巷道稳定、提高采矿效率的关键。本文系统阐述了三软岩层巷道掘进与支护技术的核心内容、施工要点及协同应用策略，旨在为相关工程实践提供理论指导与技术参考。

## 1 三软岩层及巷道掘进技术概述

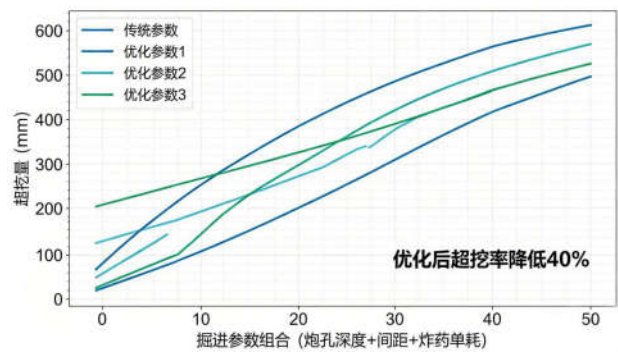
在采矿工程领域，三软岩层特指软顶板、软煤层、软底板并存的岩层地质条件，其岩体强度低（单轴抗压强度通常  $< 15\text{MPa}$ ）、遇水易软化崩解、节理裂隙发育、自稳能力极差，此类条件下的巷道掘进作为开挖地下作业通道的关键工序，直接关系到整个采矿工程的顺利推进与高效实施[1]。巷道掘进的核心目标具有多维性，首要任务是确保施工安全，三软岩层巷道施工中，岩体失稳、片帮、底鼓、有害气体积聚等危险因素发生率较硬岩巷道高3-5倍，只有保障施工过程中的安全，才能为后续工作创造条件。其次，要严格按照设计要求，精准控制巷道的尺寸、坡度及精度，三软岩层易产生塑性变形，超挖量通常可达100-150mm，精确的尺寸和坡度能够保证采矿设备顺利运行，减少后续修正工作，降低工程成本。此外，掘进过程中需最大限度减少对周边岩体的扰动，三软岩层自身力学平衡脆弱，过度扰动会直接引发岩体变形、开裂甚至坍塌，为后续支护作业带来极大困难，甚至威胁整个巷道的稳定性。三软岩层巷道掘进技术的选择需重点结合岩层特性，综合考虑多方面因素。

三软岩层物理力学性质特殊，软煤层抗压强度仅3-8MPa，软顶底板抗压强度5-12MPa，遇水后强度降低40%-60%，节理裂隙间距通常  $< 0.5\text{m}$ ，这决定了掘进方法和工具的特殊性。巷道设计参数、所处深度、地下水情况、通风条件等也会影响掘进技术选择。不同掘进技术在三软岩层中的适用性差异显著，钻爆法需严格控制爆破参数，避免岩体过度破碎；机械掘进法因振动小、扰动弱，更适用于三软岩层，其掘进效率较钻爆法高20%-30%，但设备成本较高。因此，实际工程中需结合具体地质数据，进行科学合理的选择。

## 2 三软岩层巷道掘进核心技术及施工要点

### 2.1 钻爆掘进技术

在三软岩层巷道应用钻爆掘进技术，要针对性优化参数。其原理是钻孔装药引爆破碎岩体后清渣开挖，适用于岩层中硬度较高区域，成本低，但爆破振动易扰动岩体。需严格控制钻孔精度、炸药用量及起爆顺序，如炮孔深1.8-2.2m、间距0.8-1.0m，毫秒分段起爆，炸药单耗0.35-0.45kg/m<sup>3</sup>。施工时要依岩层硬度等确定炮孔布置，选用合适炸药，及时清渣并封闭岩体表面，模拟图如下：



### 2.2 机械掘进技术

机械掘进技术是三软岩层巷道掘进的优选技术，依

托专业掘进设备实现开挖、岩渣清理一体化作业，核心优势是施工效率高、振动小、对岩体扰动弱，施工精度高，适用于各类三软岩层巷道。常用设备包括悬臂式掘进机、盾构机等，某矿采用EBZ-160型掘进机施工三软岩层巷道，月掘进速度可达180-220m，较传统钻爆法提升25%，巷道成型精度误差控制在±50mm以内<sup>[2]</sup>。

掘进机施工时，需先探测掘进区域岩体的硬度、裂隙发育及含水情况，调整掘进速度（控制在0.8-1.2m/min）、截割力度，避免设备过载或岩体坍塌；截割完成后，利用自带刮板输送机及时输送岩渣，实现开挖与清渣同步，提升效率。盾构机适用于大断面、长距离三软岩层巷道，通过盾构壳体支护周边岩体，同步完成开挖、衬砌作业，施工安全性高，受地下水影响小，但设备投资较大，需根据巷道设计参数选用合适型号。

### 2.3 掘进施工中的关键控制要点

三软岩层巷道掘进中，精准把控关键要素是保障工程质量和安全的核心。巷道断面尺寸、坡度及精度控制

重中之重，超挖会增加支护材料消耗和后续处理成本，欠挖则影响设备安装运行，需采用激光导向测量技术实时监测，及时调整偏差，确保坡度偏差控制在±3‰以内。岩体稳定性监测不可或缺，采用顶板离层仪、巷道收敛计等设备，实时监测岩体裂隙发育、变形情况，当收敛量超过2mm/d时，立即采取加固措施，防止坍塌。此外，通风与防尘工作需强化，三软岩层掘进粉尘浓度可达800-1200mg/m<sup>3</sup>，通过布置压抽混合通风系统，配合喷雾降尘，可将粉尘浓度控制在10mg/m<sup>3</sup>以下，保障作业人员健康。

## 3 三软岩层巷道支护技术核心内容

### 3.1 支护材料的类型及特性

三软岩层巷道支护材料需满足强度高、韧性好、抗变形能力强、与岩体粘结性佳的要求，常用材料包括高强锚杆、预应力锚索、U型钢支架、喷射混凝土及注浆材料等，其力学性能及适用范围如下表所示，适配三软岩层的特殊需求。

支护材料	抗拉强度 (MPa)	适用范围	核心优势
高强锚杆	≥ 600	三软岩层顶板、帮部支护	施工简单、成本低，抗变形能力强
预应力锚索	≥ 1860	围岩稳定性差、压力大区域	锚固深度深，主动施加预应力
U型钢支架	≥ 345	临时支护、底鼓严重巷道	韧性好，可适应岩体塑性变形
喷射混凝土	≥ 25	全断面封闭支护	整体性好，可防止岩体风化软化

锚杆通过与岩体的摩擦力、粘结力固定岩体，抵抗变形，适用于各类三软岩层支护；锚索长度较长（通常8-15m），深入岩体稳定层，通过张拉产生预应力（控制在100-150kN），实现主动支护，适配围岩稳定性差、压力大的巷道；U型钢支架强度高、韧性好，安装便捷，可快速支护，适配临时支护或围岩变形较大的巷道；喷射混凝土可直接喷射在围岩表面，与岩体紧密结合，及时封闭裂隙，提升岩体整体性，适用于永久性支护。

### 3.2 主要支护技术及施工工艺

三软岩层巷道支护需采用“主动支护+被动支护”相结合的方式，核心支护技术包括锚杆支护、锚索支护、U型钢支架支护及喷射混凝土支护，其施工工艺需针对性优化，适配三软岩层特性。锚杆支护施工工艺包括钻孔、锚杆安装、注浆加固三个环节，钻孔深度控制在2.2-2.5m，间距0.8-1.0m，角度垂直于巷道围岩表面，钻孔完成后插入锚杆，注入水泥浆（水灰比1:1），确保锚杆与炮孔间隙填充密实，增强粘结力，锚固力需达到80kN以上。锚索支护工艺与锚杆类似，增加张拉环节，钻孔深度8-12m，注浆后张拉预应力至120-150kN，确保对岩体产生持续约束力<sup>[3]</sup>。U型钢支架支护工艺简单，根据巷道断面尺寸加工

支架，安装间距0.6-0.8m，调整支架位置与垂直度，确保与围岩紧密接触，支架与围岩间隙采用木背板填充，增强受力均匀性。喷射混凝土支护工艺包括混合料制备、喷射作业、养护，混合料按水泥:砂石=1:4混合，水灰比0.45-0.5，喷射压力控制在0.3-0.5MPa，喷射厚度100-120mm，喷射后及时洒水养护，养护时间不少于7天，确保强度达标。

### 3.3 支护施工中的关键控制要点

三软岩层巷道支护施工中，严格把控各项要点是保障支护质量与巷道稳定性的核心。支护材料质量是基础，每批次材料需严格检验，高强锚杆抗拉强度需 ≥ 600MPa，锚索破断力 ≥ 1860MPa，喷射混凝土强度 ≥ 25MPa，不合格材料严禁使用，否则会导致支护失效，引发安全事故。支护施工精度控制关键，锚杆、锚索的安装位置、深度及角度需精准符合设计要求，偏差控制在±50mm以内，否则会降低锚固力；U型钢支架安装垂直度偏差 ≤ 3‰，间距偏差 ≤ 50mm；喷射混凝土厚度均匀，偏差控制在±10mm，避免局部过薄或过厚。此外，需加强支护结构动态监测，采用矿压观测系统，实时监测顶板离层量、巷道收敛量及支护结构受力情况，当顶板离层量超

过30mm时,立即采取补打锚索、增设支架等加固措施,确保支护结构稳定。某矿三软岩层巷道支护监测数据显示,采用优化后的支护工艺,巷道收敛量控制在50mm以内,支护失效概率降低80%。

#### 4 三软岩层巷道掘进与支护技术的协同应用

##### 4.1 掘进与支护的时序协同

三软岩层自稳能力极差,岩体暴露时间超过2h就可能发生片帮、坍塌,因此掘进与支护的时序协同至关重要,需依据岩体稳定性精准规划支护时机。当岩体相对稳定(单轴抗压强度 $\geq 10\text{MPa}$ )时,可掘进3-5m后开展支护作业,保证掘进连续性;当岩体极不稳定(抗压强度 $< 8\text{MPa}$ )时,必须采用“边掘进、边支护”策略,每掘进0.8-1.0m立即支护,最大限度缩短岩体暴露时间。同时,需把控掘进与支护速度匹配度,机械掘进速度控制在0.8-1.2m/min,支护速度同步跟进,确保支护滞后不超过1m,避免因掘进过快、支护滞后引发安全隐患。某矿三软岩层巷道施工中,采用“边掘边支”工艺后,巷道坍塌事故发生率从15%降至1%以下<sup>[4]</sup>。

##### 4.2 掘进与支护的技术协同

三软岩层巷道施工中,需依据掘进技术特性,匹配适宜的支护技术,实现协同适配。钻爆掘进时,爆破振动会加剧岩体扰动,需搭配锚杆+锚索主动支护技术,主动施加预应力,增强岩体承载能力,抵御变形;机械掘进振动小、扰动弱,可搭配喷射混凝土+U型钢支架支护,快速形成支护结构,提升效率。结合某矿工程实例,三软岩层巷道采用机械掘进+“锚杆+锚索+喷射混凝土”联合支护,掘进效率提升25%,支护成本降低18%,巷道稳定性显著提升,服务年限延长至8年以上。施工中需密切关注岩体实际状况,当岩体含水量增加、强度降低时,及时调整支护参数,增加注浆加固环节,改良岩体力学性能,确保支护效果。

##### 4.3 协同应用中的质量控制

掘进与支护协同应用中,强化质量控制是关键,需

确保施工全方位符合设计要求。掘进阶段,严格把控巷道断面尺寸、坡度及精度,超挖量控制在80mm以内,坡度偏差 $\leq 3\%$ ,采用激光导向技术实时监测调整;支护阶段,严控材料质量与施工工艺,确保锚杆锚固力 $\geq 80\text{kN}$ ,锚索预应力120-150kN,喷射混凝土厚度100-120mm。全程动态监测不可或缺,融合微震、应力、顶板离层等多源数据,建立“矿压观测一张图”,实时监测岩体变形、支护结构受力情况,及时发现异常并处理。某矿三软岩层巷道协同施工中,通过全程质量控制,巷道合格率从78%提升至98%,支护返修率从45%降至5%以下,取得了显著的安全效益和经济效益<sup>[5]</sup>。

#### 结束语

三软岩层巷道掘进与支护技术的协同应用,是保障采矿工程安全、高效推进的核心环节。通过科学选择掘进方法、优化支护参数,并实现掘进与支护的时序、技术精准协同,可有效控制岩体变形、降低坍塌风险,同时提升施工效率、延长巷道服务年限。未来,随着智能监测技术、新型支护材料的不断发展,三软岩层巷道掘进与支护将向智能化、精细化方向迈进。工程实践中需持续总结经验,结合具体地质条件动态调整技术方案,以实现安全、经济、高效的采矿目标,为行业技术进步提供有力支撑。

#### 参考文献

- [1]杨静.采矿工程中巷道掘进和支护技术研究[J].世界有色金属,2024(14):229-231.
- [2]秦秀合.采矿工程中巷道掘进和支护技术研究[J].中国金属通报,2023(10):32-34.
- [3]包有才.采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J].世界有色金属,2023(3):199-201.
- [4]郭艳峰.采矿工程巷道掘进与支护技术研究[J].矿业装备,2024(4):13-15.
- [5]高云,仇世邦.采矿工程巷道掘进和支护技术措施研究[J].冶金与材料,2024,44(6):100-102.